

El aspecto constructivo y tema radioeléctrico para el comando de los RPAs

The radio constructive aspect and subject to the RPAs command.

Cristian Cuba¹

Resumen

Presentaré en éste capítulo, aspectos generales de diseño y fabricación de los diferentes tipos de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) piloteados a distancia que se han conocido hasta ahora, con la intención de introducir en la materia al lector no especializado, repasando los conceptos más generales a tener en cuenta en cualquier tipo de configuración. De más está señalar que el diseño de cada sistema que compone un VANT, tanto como las aeronaves tripuladas, merece un análisis profundo no sólo conceptual sino matemático de desarrollo. No obstante, contando con la información global en cada aspecto, el lector podrá profundizar conceptos hasta el grado de detalle deseado con bibliografía específica que escapa al alcance de la presente publicación. A modo de detalle metodológico, el lector podrá encontrar aquí criterios de análisis y diseño de VANTs que le servirán como lineamientos generales a la hora de iniciar un proyecto constructivo o adquirir un VANT. También encontrará una síntesis de las políticas operacionales emitidas por la Autoridad Internacional de Aviación Civil en cuanto a la certificación de los VANTs y los sistemas integrales de operación, y por último un detalle de las aplicaciones más comunes donde actualmente en varios países del mundo se aplica ésta tecnología.

Abstrac

I will present in this chapter, general aspects of design and manufacture of different types of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) remotely piloted that have been known so far, with the intention of introducing the matter to the non-

✓ ¹ Ingeniero Aeronáutico (UNLP), con cursos de Post Grado en Tecnología Aeroespacial (UTN-FRH). Asesor/consultor en procesos de ingeniería, calidad, administración de recursos humanos, análisis regulatorios, estrategias de negocios, etc., para empresas y organismos oficiales. Ex Director de Mantenimiento, Gerente de Calidad y Representante Técnico de empresas de aviación ejecutiva y talleres aeronáuticos. Ex jefe de equipo en recepciones de aeronaves en el exterior para empresas de aviación comercial. Miembro del “Centro de Estudios e Investigación en Ingeniería Aeroportuaria” Departamento de Transporte de la U.B.A. Ex Secretario del Consejo Profesional de Ingeniería Aeronáutica y Espacial, y actual miembro del cuerpo de Consejeros en Comisión de Industria, UAV.

specialized reader, reviewing the most general concepts to take into account in any configuration. Needless to point out that the design of each system that composes a UAV, as well as manned aircraft, deserves a thorough analysis not only conceptual but mathematical development. However, with the global information in every aspect, the reader can deepen concepts to the desired degree of detail with specific bibliography which is beyond the scope of this publication. As a methodological detail, the reader will find here UAVs criteria analysis and design that will help as general guidelines when starting a construction project or acquire a UAV. You will also find a summary of operational policies issued by the International Civil Aviation Authority regarding the UAVs certification and whole operating systems, and finally a detail of the most common applications where nowadays this technology is applied in several countries.

Palabras claves

Vehículo Aéreo No Tripulado, VANT, RPA, Diseño, reingeniería, ingeniería, enlace radioeléctrico, certificación, OACI Circular 328, multirrotores, a las fijas, enlace radioeléctrico, piloto remoto, estación terrena.

Key words

Unmanned Aerial Vehicle, UAVs, RPA, Design, reengineering, engineering, radio link, certification, ICAO Circular 328, multirrotores, to fixed, radio link, remote pilot, earth station.

Contenido

Abstract	¡Error! Marcador no definido.
Subsistemas que lo componen	3
Configuraciones.	5
Historia.	8
Diseño	9
Procesos de Reingeniería	10
Proceso de Ingeniería	13
Requerimientos legales	16
Certificación.....	18
Requisitos en cuanto al sistema	18
Requisitos en cuanto a los pilotos al comando	19
Requisitos en cuanto a la operación	19
Usuarios hobbistas.....	20

Subsistemas que lo componen

En primer lugar es importante comprender que un VANT piloteado a distancia o llamado comúnmente “dron”, derivado del término inglés “drone”, consiste en la integración de distintos subsistemas que lo conforman. Una mirada macroscópica a cualquier tipo de estos vehículos nos permite segregar principalmente, por ejemplo, un subsistema de estructura primaria, uno de propulsión, uno de control y guiado, un subsistema de telemetría y telecomando, y un subsistema eléctrico de abastecimiento de energía.

Ampliando de manera sintética cuál es la función de cada uno de ellos, se puede resumir lo siguiente:

El subsistema de estructura primaria, es aquel que da soporte físico al resto de los subsistemas, resistiendo las cargas estructurales principales impuestas por los esfuerzos generados por las masas de cada uno de los otros elementos a bordo, los cuales generan cargas dinámicas y estáticas.

El subsistema de propulsión, consiste en las plantas motrices que equipen el vehículo para poder cumplir con los requerimientos operativos impuestos por el fabricante y satisfacer el perfil de la misión para la cual fue diseñado. Aunque resulta evidente, vale aclarar que un VANT puede haber sido diseñado para satisfacer distintos tipos de perfiles operativos, quedando a criterio del operador, definir la política de selección del vehículo considerando el perfil de la misión y sus parámetros de performance.

El subsistema de control y guiado incluye todos aquellos elementos que permiten al vehículo mantener los parámetros de estabilidad operativa impuestos en cada tramo de su trayectoria. Básicamente, está compuesto por una unidad receptora de señal electromagnética proveniente del comando operado por el piloto en tierra, la cual es transformada en órdenes que son transmitidas a diferentes mecanismos que gobiernan el movimiento de superficies de control operativo ya sea fijas o móviles.

El subsistema de telemetría y telecomando, está compuesto por equipos de transmisión y recepción de señales eléctricas; cuando el operador terrestre acciona un comando para que el vehículo tome determinada actitud de vuelo, el equipo de transmisión de señales en tierra, emite una señal transportando

datos que serán captados por el equipo receptor a bordo del vehículo y procesados por el sistema de control y guiado. Esa es una señal de telecomando. A su vez, el vehículo continuamente estará enviando una señal electromagnética emitida por su emisor a bordo con la información preestablecida en su configuración, la cual será captada por la estación receptora terrena. En esa señal viajan los datos relativos a la performance de vuelo del vehículo y también en algunos casos, datos suministrados por dispositivos de video u otro equipamiento montado sobre el vehículo de acuerdo a su misión.

El subsistema de energía, conceptualmente está compuesto por conjuntos de baterías que alimentan al equipamiento instalado a bordo. Éste subsistema puede ser muy complejo y estar a su vez subdividido en tantos subsistemas como sea necesario para asegurar la correcta operación no sólo del equipamiento a bordo sino también del propio VANT. En algunos casos los propulsores de los VANT son alimentados mediante energía proveniente de combustible líquido, en otros más sofisticados a través de energía solar y en la mayoría de los vehículos de pequeño porte, mediante energía eléctrica. Usualmente, en vehículos de porte considerable, el sistema de propulsión suele alimentarse no solo a través de combustible líquido, sino también por medio de un generador eléctrico. En vehículos de pequeño porte, es frecuente encontrar que el subsistema de energía está compuesto por un conjunto de baterías (pack) de donde se obtiene la alimentación para todo el equipamiento de a bordo incluyendo sus propulsores, pero a medida que se amplía la capacidad operativa del vehículo y por ende su equipamiento de abordó, se requiere más energía para mantener vivo el sistema. En esos casos es necesario contar con sub-sistemas de provisión de energía por ejemplo, uno para mantener operativo el generador eléctrico que alimenta a la planta propulsora, otro para el sistema de telemetría y telecomando y otro el subsistema de control y guiado. Avanzando en éste concepto, ésta sub-subdivisión puede a su vez volver a subdividirse, en función de las características particulares del diseño del vehículo en función de su misión.

A priori, parecería ser que contando con un subsistema de alimentación de energía con la suficiente “robustez” en relación al vehículo, podríamos contar con una autonomía sobredimensionada según las necesidades operativas, pero tenemos que tener en cuenta que sobredimensionar éste subsistema, implica contar con mayor cantidad de baterías a bordo, lo que a su vez implica aumentar el consumo energético para poder ser transportadas, respecto de un diseño equilibrado. También, implica que el subsistema de estructura primaria deba ser reforzado para soportar el montaje de baterías más pesadas o reforzado en sectores donde una ecuación equilibrada de cantidad de baterías no lo requiriese, lo que en ambos casos implicaría aumentar la cantidad de material y/o refuerzos estructurales lo que también implicaría un aumento de

consumo energético en función de dicho aumento de material a ser transportado. Por éste motivo el subsistema de alimentación debe ser considerado en los cálculos iterativos de diseño del vehículo desde sus inicios sin caer en la tentación de subestimar su incidencia general ni particular en su diseño conceptual.

Configuraciones.

Actualmente, las aplicaciones comerciales de éste tipo de vehículos han logrado que muchos de los lectores imaginen un VANT como un objeto de recreación que puede ser adquirido por cualquier persona y sin ningún tipo de restricción en locales comerciales de rubros electrónicos. Normalmente estamos acostumbrados a encontrarnos con VANTs con varios rotores, a los que se denominan cuadricópteros, hexacópteros, etc, dependiendo de la cantidad. No obstante, existen algunos que poseen un solo rotor. A todo ese conjunto de vehículos se los puede denominar “vehículos aéreos no tripulados de alas rotativas”.

También existen otros de ala fija, lo que los asemeja a una aeronave tripulada convencional; ellos pueden tener tantas formas geométricas y tamaños como podamos imaginar.

En éste capítulo se ilustrará al lector sobre algunas de las diferentes configuraciones que los fabricantes han diseñado en función de la misión para la cual fueron concebidas.

Existen varias clasificaciones de VANT, y ellas obedecen principalmente a la interpretación o proyección normativa/legislativa de las autoridades aeronáuticas de cada país. En Argentina por ejemplo, el “Reglamento Provisional de los Vehículos Aéreos No Tripulados” emitido por la Administración Nacional de Aviación Civil Resolución 527/2015, indica que se deben considerar tres categorías principales:

- a) Pequeños, de hasta DIEZ (10) kilogramos de peso vacío.
- b) Medianos, de entre DIEZ (10) y CIENTO CINCUENTA (150) kilogramos de peso vacío.
- c) Grandes, de más de CIENTO CINCUENTA (150) kilogramos de peso vacío.

Más adelante, hablaremos sobre los detalles normativos impuesto por el reglamento local actual, pero veamos antes algunas configuraciones.

Como ejemplo de los más pequeños vehículos de éste tipo que hayan sido diseñados hasta el momento, podemos encontrar el “Black Hornet Nano” que es un pequeñísimo vehículo aéreo no tripulado desarrollado con fines de

observación para inteligencia militar, fabricado por Prox Dynamics AS of Norway, Mide 10 centímetros por 4 centímetros y pesa 16 gramos incluyendo las baterías que le dan una autonomía de 20 a 25 minutos de vuelo. Tiene instaladas a bordo 3 cámaras de observación y el entrenamiento para su operación es de alrededor de 20 minutos.



Otro ejemplo de uno de los más pequeños vehículos aéreos no tripulados puede ser el Cuadricoptero “Aerius” desarrollado por Axis Drone, una división de Morrison Innovations LLC, empresa radicada en Nueva York. Su tamaño es sólo ligeramente mayor que una moneda de cuarto de dólar americano. A pesar de su tamaño posee subsistemas electrónicos que le permiten giroestabilizarse en 6 ejes, ajustar su control de vuelo, iluminar su paso con luces led y hasta hacer piruetas con solo pulsar un botón desde el mando de control terreno. Su batería puede mantenerlo en vuelo no más de 7 minutos aproximadamente, y se recarga en 15 minutos. La frecuencia de transmisión de datos es la misma que la que suele utilizarse en un vehículo 100 veces más grande, 2.4 GHz, lo que significa que en teoría puede ir tan lejos como su batería se lo permita.



En contraposición con lo anterior, y siguiendo con la clasificación de alas rotativas, también existen vehículos aéreos no tripulados de gran tamaño los

que generalmente se utilizan con finalidad de defensa de estado. Por cuestiones de seguridad, no se conocen características precisas de éste tipo de aeronaves, pero a modo ilustrativo se incorporan algunas imágenes que publican sus fabricantes de modo de introducir al lector en la búsqueda detallada de información en función de su interés.



Northrop Grumman, modelo X47B.



Northrop Grumman MQ-8C Fire Scout

Como dato general y a modo ilustrativo, podemos decir que estas aeronaves no tripuladas, en algunos casos pueden ser capaces de transportar una carga paga de hasta 2.000 kg. Denominamos carga paga, a todo aquel objeto que la aeronave debe transportar para poder dar cumplimiento a su misión, ya sea, una cámara fotográfica, provisiones para ser lanzadas en lugares inaccesibles, material bélico, etc. En contraposición con los ejemplos descriptos anteriormente, son vehículos que pueden tener la capacidad de volar durante varias horas, en algunos casos 24 o más, a una altura de vuelo de una aeronave convencional y con un rango de alcance de cientos o miles de kilómetros en algunos casos.

Estos grandes grupos corresponderían a vehículos pequeños y grandes de acuerdo a la reglamentación local.

En relación a los vehículos medianos, también podemos encontrar de diferentes configuraciones segregando en primera instancia entre alas rotativas multi-rotores y alas fijas, y a su vez, en cada uno de esos subconjuntos diferentes configuraciones geométricas y capacidades operativas en función de la misión a cumplir. En éste caso de vehículos medianos, encontramos las configuraciones necesarias para satisfacer la gran mayoría de las aplicaciones de uso comercial civil en diferentes industrias.

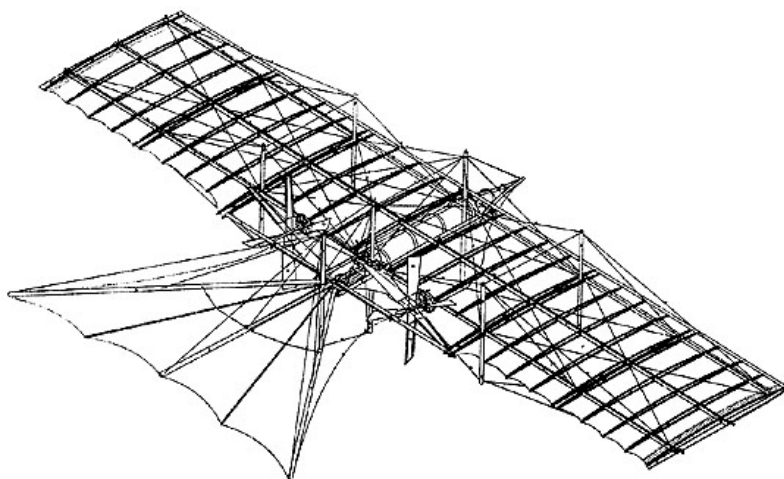
El lector podrá apreciar, que dentro de la categoría Grandes y también en muchos casos Medianos, estamos hablando de VANTs, que pueden operar de la misma manera que operan las aeronaves comerciales y sus criterios de diseño y fabricación son exactamente similares con la particularidad de que los sistemas de control de vuelo y verificación de parámetros de performance son monitoreados desde una estación terrena, que debe estar permanentemente comunicada con el vehículo.

No es intención de éste capítulo, brindar todas las herramientas necesarias para el diseño de un VANT ya que deberíamos apoyarnos en conceptos netamente técnicos, pero a modo de introducir al lector en la filosofía del diseño, más adelante se encontrará una metodología utilizada.

Historia.

Todos sabemos que la palabra dron, se ha puesto de moda en estos últimos años, pero las aeronaves no tripuladas datan de mucho tiempo atrás.

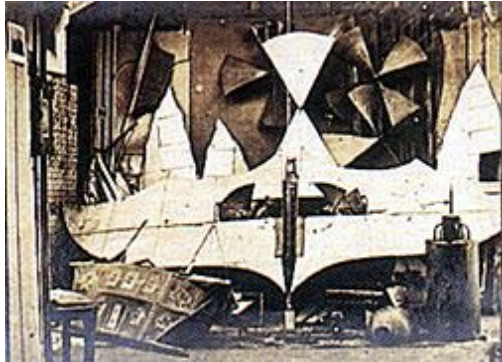
En 1843, William Henson, un inventor inglés, registró la primera patente de una aeronave equipada con motores, hélices, y provista de un ala fija, lo que en la actualidad se conoce como avión, pero se desistió del proyecto dado que no se obtuvieron buenos resultados.



Patent Drawing Of The Aerial Steam Carriage - 1843

Carrol Gray (2003). «William Samuel Henson 1812 - 1888» (en inglés). FlyingMachines.com

Luego en 1848, su amigo John Stringfellow, construyó una aeronave basada en los diseños de Henson, la cual pudo despegar por medios propios y sin piloto, pero sólo volaba por dos o tres segundos.



Stringfellow's First Steam Engine Powered Flying Machine – 1848

Carrol Gray (2003). «John Stringfellow 1799 - 1883» (en inglés). FlyingMachines.com

También se conocen registros que indican que en 1877 el italiano Enrico Forlanini desarrolló un prototipo no tripulado de helicóptero, de unos 13 metros de altura y alimentado con un motor a vapor. Fue el primero de su tipo y logró un despegue vertical permaneciendo en el aire unos 20 segundos.

Gian Luca Lapini. «Enrico Forlanini» (en italiano). StoriaDiMilano.it.

De allí en adelante, existe mucha bibliografía que marca diferentes hitos históricos en relación a los primeros vuelos de aeronaves no tripuladas, pero se podría decir que los primeros diseños en serie vinieron durante y tras la Primer Guerra Mundial y fueron usados durante la Segunda Guerra Mundial con fines bélicos. Fue a fines del siglo XX cuando comenzaron a operarse con mecanismos de radio control, ampliándose significativamente su utilización.

De allí en adelante, los vehículos no tripulados han comenzado a penetrar cada vez más en la actividad civil, y se han comenzado a desarrollar en muchos casos, vehículos específicos para ese ámbito, a la par de los desarrollos bajo el concepto bélico que fuera el disparador de la tecnología.

Diseño

En la actualidad, en muchos países del mundo se están desarrollando modelos de aeronaves no tripuladas que en algunos casos obedecen a requerimientos puntuales del mercado comercial y en otros, han sido una continuidad de la optimización de modelos previamente diseñados con propósitos hobbistas en el ámbito del aeromodelismo. Estos casos normalmente corresponden a vehículos de alas fijas y por lo general requieren de un análisis de reingeniería sobre el modelo existente a fin de optimizar condiciones de vuelo, y capacidad de carga paga a bordo.

Procesos de Reingeniería

Conceptualmente, el proceso de reingeniería persigue la finalidad de mejorar aspectos de diseño de vehículos ya diseñados y fabricados, optimizando cada uno de los subsistemas.

En caso que el lector tenga la necesidad de realizar un proceso de reingeniería sobre su modelo desarrollado empíricamente por él mismo o adquirido sin documentación de diseño, la recomendación inicial es comenzar validando los parámetros de performance del vehículo a partir de su configuración geométrica, equipamiento de a bordo y tipo de materiales utilizado para su construcción. Para ello, se deberá realizar un estudio integral del vehículo a partir de los datos obtenidos del modelo existente y calcular los parámetros de performance que luego deberían ser reflejados en vuelo. Con ello, podremos verificar que el comportamiento de nuestro vehículo es adecuado en relación a su diseño.

Luego, con el fin de optimizar su performance y buscar la oportunidad de mejora, se debe estudiar al detalle la condición estructural y fluido dinámica del vehículo analizando principalmente el subsistema de estructura primaria, que en definitiva es quien da soporte al vehículo en sí con su carga paga.

Para ello, hoy en día contamos con herramientas informáticas que validan nuestros cálculos teóricos y esa es la metodología recomendada. Si caemos en la trampa de iniciar un proceso de reingeniería estructural sin antes haber desarrollado un cálculo teórico al menos global, el usuario podría tomar malas decisiones a raíz de los resultados arrojados por programas informáticos quizás erróneos o sin parámetro analítico de interpretación del profesional actuante.

Entonces, luego de haber realizado ese primer análisis conceptual, y aprovechando que hoy en día contamos con la ayuda de software especializado que nos permite validar los resultados obtenidos y enfocar nuestra atención en determinados aspectos del estudio a fin de optimizar el diseño del vehículo, la recomendación es modelar nuestra estructura con la ayuda de un software CAD (Diseño Asistido por Computadora) para luego

realizar principalmente los análisis estructurales y fluido dinámicos. Para ello, se utilizan softwares FEM (Análisis de Elementos Finitos) que dicho sintéticamente, lo que nos permiten es considerar que la estructura completa modelada en CAD, está compuesta por una cantidad dada de elementos unidos entre sí que la conforman. De esa manera el software nos dará información de cada uno de esos elementos y el analista podrá contar con la información total sobre todo el diseño.

La figura a continuación muestra la metodología de análisis que se utiliza en una aeronave convencional, la cual es aplicable también a un vehículo no tripulado. El concepto es completamente similar en ambos casos.

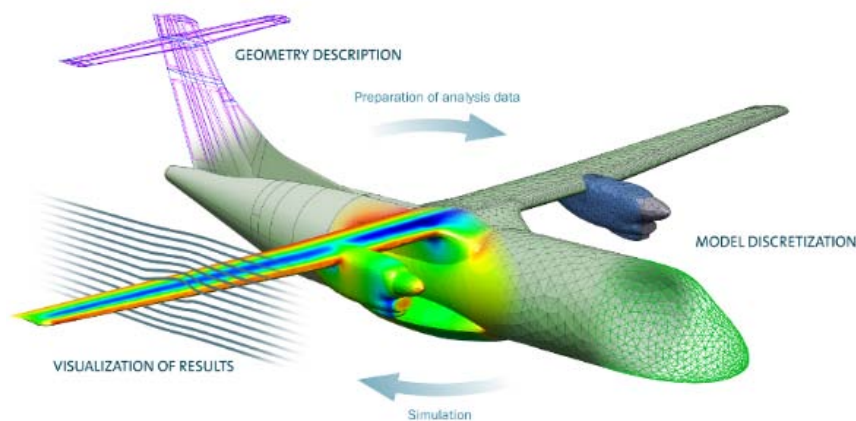


Imagen: Depto de Electrónica e Informática Univ. Centroamericana José Simeón Cañas

Gráficamente en la figura anterior podemos visualizar el proceso completo de análisis. No está en el alcance del presente capítulo brindar un curso de análisis mediante sistemas FEM pero al menos daremos al lector una idea conceptual de los pasos a seguir.

En primer lugar se debe realizar el diseño geométrico de la estructura mediante un sistema CAD. Hay que tener en cuenta, que el nivel de detalle con que el diseñador geometriza la estructura, será determinante para la obtención de datos. Cada parte de la estructura debe estar modelada para que pueda ser sometida al análisis. Dependiendo de la complejidad del modelo, el diseñador elige su estrategia de geometrización pero sin perder de vista los detalles que caracterizan el producto, como ser los tipos de ensamble entre partes y detalles geométricos de cada una.

Una vez geometrizada la estructura, está preparada para recibir la información con la cual será analizada. Se dice que se “modeliza” la estructura lo que significa identificar a cada una de las partes intervinientes con la figura geométrica que mejor la representa. Por ejemplo, tenemos que “avisarle” al software, que la “piel” que recubre todos los refuerzos estructurales que dibujamos del ala, es un elemento identificado como “placa”; eso implica darle

identidad a esa parte. De la misma manera, en el caso de haber diseñado un refuerzo estructural que en modelo CAD sea representado mediante una barra simple o línea simple, tenemos que “avisarle” al software si por ejemplo esa línea corresponde a una viga de sección cuadrada, o circular.

Con todas las partes modelizadas, se debe discrecionalizar el modelo. Eso es asignarle a cada parte un tipo de elemento de red de mallado (generar una malla) que actuará como indicador de análisis en cada lugar. Es decir, a cada parte, se la subdivide en pequeños pedacitos que pueden ser de diferentes formas geométricas a criterio del analista. Cada uno de esos pequeños sectores en los cuales queda subdividida la parte, nos dará información de la estructura. Por ese motivo, pensando en el caso extremo, sería conveniente discrecionalizar (mallar) la estructura en la mayor cantidad de partes posibles, pero el inconveniente es que a mayor cantidad de elementos (malla más fina), mayor será el tiempo de procesamiento que necesitará el sistema para arrojar los resultados. Normalmente, el proceso de mallado no es algo que el analista tenga que diseñar de manera manual en cada elemento, sino que debe otorgar parámetros al software y se realiza en forma automática. Lo que sí hay que tener presente, es que cada elemento de mallado debe tener una forma geométrica tal que los resultados del análisis que posteriormente se realizará, sean representativos del modelo analizado, y no se vean condicionados por el tipo de elemento elegido por el analista para un sector determinado. En ésta instancia es donde los conocimientos teóricos estructurales del analista son fundamentales para la toma de decisión de qué tipo de elemento utilizar en cada caso.

Luego se deben informar al sistema las propiedades mecánicas reales de cada elemento. No profundizaremos en las distintas características físicas de cada tipo de elemento, pero a modo conceptual, el lector inexperto podrá comprender que no se comportará de igual manera en cuanto a su resistencia estructural, un modelo con propiedades plásticas que metálicas.

Volviendo al análisis en su proceso más general, teniendo mallado el modelo, definidas las propiedades mecánicas de cada parte que lo compone y definido el tipo de análisis al que lo queremos someter, tenemos que indicarle al software la vinculación del vehículo con el ámbito que lo rodea en cada caso; condiciones de contorno. Por ejemplo, si el analista necesita conocer los esfuerzos que soporta la estructura en una prueba de motor estática a máxima potencia con frenos aplicados, las condiciones de contorno que tendrá que utilizar, son muy diferentes que si se necesita conocer los esfuerzos sobre la unión ala-fuselaje en un viraje escarpado a máxima potencia.

Definidas las condiciones de contorno particulares, pensemos en primera instancia un análisis de resistencia estructural a fin de verificar las tensiones a las que está sometida la estructura del vehículo. Tendremos que

indicarle al software las cargas a las que estará sometido el modelo, con la mayor discrecionalidad posible a fin de obtener los resultados más reales posibles a la condición de vuelo.

De la misma forma, se pueden realizar análisis de vibraciones (modos de vibrar), y comportamiento aerodinámico, para entender resultados mecánicos, eléctricos, etc, que se observan al analizar el modelo de vuelo.

Habiendo ya optimizado la estructura primaria, podemos pasar al análisis pormenorizado del resto de los subsistemas. Se deberá tener presente que, con cualquier modificación en relación al tamaño o peso que sufran los componentes montados sobre el vehículo del subsistema de control y guiado o de telemetría y telecomando o el eléctrico, se modificarán los parámetros de masa considerados en la discretización del modelo, y se deberán realizar nuevamente los análisis de vibraciones, tensiones máximas, aerodinámicos, etc.

Los resultados obtenidos de éstos modelos numéricos le brindan al analista la posibilidad de tomar decisiones en cuanto al tipo de materiales a utilizar en determinadas partes, ubicación de refuerzos estructurales, geometría del modelo, etc.

Proceso de Ingeniería

Pueden existir varios puntos de partida para el análisis del diseño inicial de un VANT. Una posibilidad es que el diseñador tenga la intención de validar cierto tipo de tecnología relacionada con nuevos materiales, nuevas configuraciones aerodinámicas, nuevas formas de enlaces radioeléctricos, motorizaciones, combustibles, energía solar, etc. En ese caso, el eje principal será encontrar un diseño acorde, que permita la implementación de esos nuevos conceptos dejando librados al desarrollo del proyecto, otros parámetros como ser el tamaño final del vehículo, su peso, costo, performance, etc. Habitualmente, los centros de investigación relacionados a entidades académicas, suelen realizar proyectos en éste sentido con la finalidad de validar nuevas tecnologías.

Sin embargo, la mayoría de las actividades comerciales implican desafíos que siempre se basan en la optimización de los mismos conceptos: reducciones de costos finales, aumento de la calidad de prestación, y minimización de riesgos operativos, entre los más comunes. En esos casos los sectores industriales han comenzado a llevar adelante diferentes procesos con VANTs y sus fabricantes también han ido adaptando sus modelos en función de los requerimientos de los sectores más demandantes del mercado,

modificando los parámetros de diseño y performance de sus equipos, a fin de obtener características de vuelo que satisfagan cada vez más a sus clientes.

Por eso, en esa línea de pensamiento, podríamos imaginar que tenemos un requerimiento puntual para cumplir una cierta misión y debemos diseñar un VANT que pueda cumplirla. Para ello, puede ser de utilidad tener presente los siguientes factores principales, sin que el orden de enumeración implique una ponderación vital de sus conceptos:

- a. Autonomía de vuelo del vehículo.
- b. Carga paga máxima.
- c. Capacidad de maniobrabilidad/estabilidad y tipo de misión a cumplir.
- d. Capacidad de enlace radioeléctrico con la estación terrena.
- e. Techo máximo operativo, es decir su altura máxima de vuelo.
- f. Condiciones climatológicas habituales de la misión.
- g. Velocidad de transferencia de datos o su almacenamiento.
- h. Transportabilidad.

Entrando un poco más en el detalle de cada punto anterior, hagamos un ejercicio, basado en una situación real que pudiera tener que enfrentar el diseñador. Más adelante, veremos algunos usos concretos de éste tipo de tecnología, pero a modo de ejemplo, pensemos en algunos casos.

Supongamos que el diseñador tiene como misión diseñar un VANT con la finalidad de detectar plagas en los cultivos de grandes extensiones, para poder contar con información precisa respecto de la necesidad de aplicar productos fungicidas o no. Seguramente, en ese caso, pensará en un vehículo que tenga la capacidad de tener alta autonomía de vuelo para poder cubrir la mayor cantidad de área de inspección sin necesidad de tener que aterrizarlo para recargar baterías o combustible; una carga paga relativamente baja ya que sólo instalará algún equipo de filmación que suele tener un peso relativamente bajo, y una estabilidad lo más alta posible lo que implicará contar con baja maniobrabilidad, para poder tener imágenes claras a pesar de las ráfagas de viento a las que pueda estar sometido, y una velocidad de avance lo más baja posible. En éste caso, a priori y sin mayores datos condicionantes, se podría entender que el techo operativo del vehículo y su facilidad de transportabilidad no aparentan ser condiciones determinantes para su diseño. La capacidad de enlace radioeléctrico con la base terrena, debería ser adecuada para grandes extensiones y sería oportuno poder configurar en el vehículo determinadas coordenadas de la zona a inspeccionar y hacer que regrese al punto de partida sin necesidad de recibir órdenes de telecomando desde la base terrena o transmitir las imágenes ya que podríamos pensar en descargarlas una vez que el vehículo aterrice.

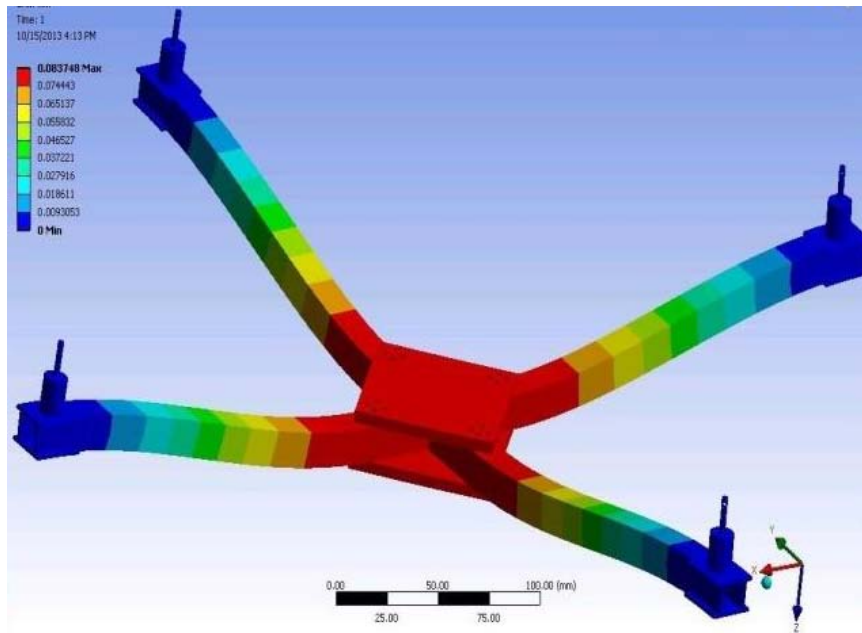
De otro modo, si tuviésemos la necesidad de diseñar un vehículo de reconocimiento táctico para fuerzas de seguridad de zonas urbanas, el grado de transportabilidad y capacidad de fácil puesta en escena se transformaría en una prioridad, ya que nuestro cliente deberá contar con un producto que sea fácilmente transportable en un vehículo, fácilmente puesto en vuelo por ejemplo lanzándolo a mano, de bajo peso, de materiales tales que no se dañen fácilmente con un uso intensivo y con un sistema de comunicaciones de señal encriptada a fin de evitar interferencias ilícitas en la programación de su trayectoria de vuelo. En éste caso la comunicación radioeléctrica será de vital importancia y la transferencia de datos en tiempo real (imágenes) también.

De éste modo, podríamos describir decenas de aplicaciones cada cual con sus particularidades operativas, las que deberán ser tomadas como punto de partida para el análisis del diseñador.

Adicionalmente, es importante aclarar que al momento de diseñar una solución para dar cumplimiento a una misión específica, el diseño del vehículo debe ser complementado con los requerimientos de la estación terrena de operación. Es decir, el VANT, pasa a ser una parte más del Sistema. Por ello, el diseño de la estación terrena debe estar acorde al diseño del vehículo y la misión, y debe ser considerado como una variable más en el diseño conceptual inicial.

Una vez que el diseñador haya encontrado una idea geométrica, estructural y propulsora, en función de su experiencia y sus cálculos preliminares, los conceptos básicos del diseño geométrico del vehículo, en un proceso de ingeniería de desarrollo inicial, son exactamente los mismos que para el caso de un análisis de reingeniería.

En la siguiente figura, se puede apreciar una visualización de los niveles de tensiones estructurales a las cuales se encuentra sometida una estructura primaria de un VANT de configuración de alas rotativas motorizado por cuatro rotores (cuadricóptero)



"Quadrotor – An Unmanned Aerial Vehicle" Mr. Kalpesh N. Shah, Mr. Bala J. Dutt, Hardik Modh

Requerimientos legales

Lo primero que hay que destacar es que de acuerdo a lo indicado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en su Circular N° 328, sólo los vehículos aéreos piloteados a distancia (por ellos identificados como RPA por sus siglas en ingles “Remotely Piloted Aircraft”) son los que podrán entrar en el sistema de aviación civil internacional, no así el caso de los vehículos autónomos, es decir, aquellos que pueden realizar una misión programada desde el momento de su despegue sin intervención alguna del piloto al mando.

Para las RPA que utilizan el sistema VLOS (visibilidad directa visual) como base para la navegación, no requerirán contar con los medios de a bordo que le permitan al piloto al mando determinar la posición o la capacidad de realizar aproximaciones de vuelos por instrumentos. Normalmente las operaciones de estas aeronaves se realizan en condiciones VMC (condiciones meteorológicas de vuelo visual) para asegurar que el piloto remoto pueda mantener una observación visual continua de la RPA y su entorno. En los casos que pequeñas RPAS tengan que volar más allá de VLOS deberán contar con un medio para satisfacer las capacidades de navegación del espacio aéreo en el que operen.

¿Cuál es concretamente la diferencia principal de las RPA con las aeronaves convencionales? La respuesta es evidente en cuando a la presencia del piloto al mando a bordo o no, pero la diferencia técnica es que el enlace de datos entre la estación terrena y el vehículo sustituye a los mecanismos tradicionales que conectan los mandos de vuelo con las superficies de control. Es por eso que las autoridades deberán considerar la performance del enlace de datos radioeléctrico como parte del proceso de certificación.

¿Que es lo que se busca con un enlace radioeléctrico? Que la aeronave que sea controlada por el piloto remoto, sea capaz de actuar como enlace de comunicaciones entre él y el control de tránsito aéreo ("ATC", por su siglas del ingles: "Air Traffic Control") y que exista una performance adecuada en las comunicaciones, es decir un adecuado tiempo de transmisión y continuidad en las comunicaciones, y la puntualidad de respuestas de la aeronave frente a las instrucciones del control de tránsito ATC.

Es evidente que para las operaciones en espacio aéreo controlado, el piloto remoto no sólo debe tener un enlace con el RPA sino también con el ATC. En la mayoría de los casos, las comunicaciones con el ATC se hacen a través de la aeronave pero también podrían hacerse mediante cableado entre la estación de piloto remoto y el ATC, retransmitiendo por medio de equipos de radios terrestres o de satélites.

Uno de los problemas operativos más delicados está ligado a las performance de las comunicaciones, es decir al tiempo de transacción de enlace de datos y disponibilidad. El tiempo que un controlador o piloto insume en la transmisión de un mensaje y la recepción de una respuesta varía considerablemente dependiendo del medio de comunicación utilizado. Por ejemplo en el espacio aéreo oceánico puede resultar aceptable transmitir una petición y recibir una respuesta en poco minutos (HF o SATCOM) mientras que las operaciones en áreas terminales y espacio aéreo en ruta congestionada, exigen tiempos de respuesta radiotelefónica instantáneos (VHF).

Para solucionar éstos problemas, por ejemplo, puede ser necesario transferir el control del pilotaje desde una estación de piloto remoto de origen a una estación en el entorno de destino. Es por eso que la OACI prevé que la estación de piloto remoto, podría operarse como una empresa comercial por un "explotador de estación de piloto remoto", y podría darse el caso, que el Estado (país) de explotador de piloto remoto, no sea el mismo del Estado de explotador de la RPA, para lo cual deberían tratarse aspectos jurídicos y acuerdos entre países. En estos casos, ya nos introducimos en los conceptos de Certificación de Operación que cada Estado requiere o está comenzando a requerir.

Certificación

En ese sentido, una de las cosas que OACI prevé es que la certificación del RPAS (sistema que lo conforma) se documente con un Certificado Tipo expedido a la RPA. El Certificado Tipo es el documento que la Autoridad de Aviación Civil le emite al fabricante, una vez que éste demuestra que la aeronave cumple con todos los requisitos normativos de acuerdo a su diseño particular. De ésta forma, el poseedor del certificado tipo sería el responsable por todo el sistema completo y la estación de piloto remoto relacionada, sería una entidad separada dentro del sistema, que probablemente se trate de manera similar a los motores y hélices; es decir, que el Estado responsable del diseño podría expedirles un Certificado Tipo particular. De ésta manera la configuración del RPA y las estaciones de piloto remoto se certificarían conjuntamente con la RPA por el Estado de diseño de la aeronave y se documentaría dentro de la hoja de datos del Certificado Tipo.

¿Cuáles son los requisitos que las autoridades nacionales deben exigir en función de los requerimientos internacionales emitidos por OACI en materia de Certificación?

Requisitos en cuanto al sistema

Se deberían describir:

a- cómo se llevará a cabo de manera segura la operación propuesta del RPAS para reducir al mínimo el riesgo para el Sistema Aéreo o para las personas y bienes en el terreno; es decir describir el diseño y las características operativas para el tipo(s) de RPAS que los operadores tienen la intención de operar; por ejemplo, performance de la aeronave y limitaciones de rendimiento, procedimientos de operación, y la información de carga del VANT con el mayor detalle posible.

b- los procedimientos que se implementarían, tales como inspecciones pre-vuelo, mantenimiento y reparación, para garantizar que las RPA estén en condiciones para el vuelo seguro.

c- la frecuencia de radio (RF) del espectro utilizado para el control de los RPA y el equipo asociado que forma parte del RPAS (es decir, sensores, cámaras, etc.), y si se cumple con los requerimientos de los organismos de supervisión del gobierno correspondiente.

Requisitos en cuanto a los pilotos al comando

Se deberían describir:

a- el nivel de licencia; formación aplicable relacionadas con la operación; y cualquier número mínimo de horas de experiencia de vuelo requeridos por el Piloto en comando, ya sea en el tiempo total de vuelo y el tiempo con el VANT particular.

b- funciones y calificaciones de observadores visuales.

c- las normas médicas y certificación de los Pilotos al comando que sean directamente responsable de la operación de la UAS.

Requisitos en cuanto a la operación

Entendemos que el explotador de RPAS-mínimamente- debería describir o manifestar los siguientes aspectos de la operación:

a- en forma completa sus operaciones previstas y describir cómo la esa propuesta no afectaría negativamente a la seguridad, o la forma en que habría de proporcionar un nivel de seguridad al menos equivalente a la prevista por la normativa vigente, de la que se solicita la exención. Asimismo deberían indicar la manera de poner en práctica los límites y los procedimientos operativos claramente definidos para garantizar la seguridad pública, que incluye a las personas y los bienes, tanto en el aire como en el suelo.

b- especificaciones de la velocidad de operación máxima propuesta, la altitud, describir la visibilidad mínima de vuelo y distancia de las nubes para su operación prevista. Asimismo deberían describir los posibles peligros y mitigaciones de seguridad asociados con estas condiciones propuestas.

c- las características de la zona de operaciones previstas y los riesgos potenciales asociados en cuanto a la proximidad a zonas pobladas.

d- si tienen la intención de operar en la proximidad de cualquier aeropuerto.

e- los procedimientos que se implementarían para la realización de una evaluación de riesgos de seguridad de verificación previa para determinar que el RPA está en condición segura de vuelo y que la operación prevista se puede completar con seguridad.

f- si los solicitantes tienen la intención de llevar a cabo operaciones que tengan requisitos pre-existentes (como el cine y la filmación de televisión, u

oleoductos y patrullaje de tendido eléctrico, etc.) deberían describir su tipo de operación prevista.

g- explicitar las excepciones a los reglamentos con los cuales no puede cumplir plenamente a fin de que la Autoridad Aeronáutica realice las evaluaciones correspondientes relacionadas a los riesgos operativos que ello pudiese llegar a generar.

Usuarios hobbistas.

Si el lector es un operador hobbista no debe abrumarse por los requerimientos. Usted no necesita una licencia para operar un VANT de recreo, pero las autoridades de aviación civil de la mayoría de los países del mundo donde ésta tecnología está disponible, están comenzando a emitir reglas tendientes a resguardar las garantías en términos de seguridad operacional. Actualmente, todas las autoridades coinciden en que lo más importante es no volar sin su autorización encima de la gente, y siempre mantener su vehículo no tripulado a la vista. También, dentro de las áreas permitidas para volar han impuesto restricciones como ser, no operar dentro de las 5 millas contiguas a un aeropuerto, etc.

Las restricciones y requerimientos operativos son de diferente tenor, y varían de acuerdo a los estudios de cada país. Además, las autoridades de Aviación Civil, se encuentran en permanente proceso de estudio y readecuación normativo, con lo cual cualquier información específica en ese sentido que hoy pudiese dar al lector, posiblemente sea rectificada por la misma Autoridad y así sucesivamente. Por ese motivo es que no pretendemos citar aquí una lista de restricciones y requerimientos para lograr una autorización de su uso, sino que la principal intención es introducir al lector en el ejercicio de la consulta de requerimientos con la Autoridad Aeronáutica local de manera frecuente.

Aplicaciones

Por supuesto, que la cantidad de aplicaciones que posee esta tecnología de VANT, es tan variada como podemos imaginar. No obstante, el lector podrá encontrar a continuación una síntesis de aplicaciones en distintos agrupamiento, en los que hoy en día operadores del mundo han incursionado:

Servicios de Emergencias y Recuperación se Desastres.

1. Vigilancia de materiales peligrosos y desastres ambientales.
2. Entregas de Emergencia (medicina, equipos, suministros)
3. Búsqueda y rescate.

Servicios de Seguridad

4. Investigación de la escena del crimen.
5. Vigilancia y seguimiento.
6. Coordinación de la respuesta de Policía.

Agricultura, Acuicultura, Silvicultura, Viticultura

7. Monitoreo biológico y químico (riego, pesticidas, tratamientos, etc)
8. Inventario y registros.
9. Control de plagas y su detección, y tratamiento de enfermedades.
10. Operaciones y gestión de precisión.

Gestión Ambiental.

11. Evaluación de los peligros del medio ambiente.
12. Evaluación del impacto ambiental y cumplimiento normativo.
13. Especies invasoras y control de plagas.
14. Análisis de crecidas de aguas.
15. Detección y vigilancia de incendios.
16. Lucha anti-granizo.

Urbanismo, Inmobiliaria, Arquitectura e Ingeniería

17. Inspecciones industriales.
18. Diseño ambiental (arquitectura, ingeniería, paisajismo, diseño urbano)
19. Análisis del sitio, para planificación y diseño.

Medios y Comunicaciones

20. Publicidad y marketing.
21. Arte. (diseño comercial, escenografías, etc.)
22. Entretenimiento (cine, televisión, teatro, etc.)
23. Investigaciones periodísticas.

Comercio y Negocios

24. Aero-Tecnología / robótica de investigación y desarrollo.
25. Vigilancia para disminución de costos de seguros.
26. Exploración (agua, petróleo, gas, minerales, etc.)
27. Servicio de entrega y recepción de paquetes.

Recreación y entretenimiento

- 28. Exploración.
- 29. Actividades y eventos.
- 30. Construcción en kit.
- 31. Fotografía Personal y videografía.

Hoy en día los VANTs sus diseñadores y pilotos son capaces de realizar una amplia gama de actividades. Muchas más de los que los medios de comunicación alcanzan a promover. Las sorpresas van a seguir llegando. No estamos muy lejos del hecho de que una de esas aplicaciones sea el transporte de pasajeros.

El futuro ya está aquí; tenemos la oportunidad de ser partícipes de la revolución tecnológica en materia aeronáutica. Cuanto antes la regulación nos coloque en esa dirección, mas chances tendremos como país, de participar y desarrollarnos en muchos aspectos, desde lo académico hasta lo productivo.

Bibliografía.

1. Administración Nacional de Aviación Civil Resolución 527/2015
2. [Prox Dynamics](#) AS of Norway
3. Morrison Innovations LLC, empresa radicada en Nueva York
4. Northrop Grumman
5. Carrol Gray (2003). [«William Samuel Henson 1812 - 1888»](#) (en inglés). FlyingMachines.com
6. Carrol Gray (2003). [«John Stringfellow 1799 - 1883»](#) (en inglés). FlyingMachines.com
7. Gian Luca Lapini. [«Enrico Forlanini»](#) (en italiano). StoriaDiMilano.it.
8. Depto de Electrónica e Informática Univ. Centroamericana José Simeón Cañas
9. "Quadrotor – An Unmanned Aerial Vehicle"

Mr. Kalpesh N. Shah¹, Mr. Bala J. Dutt², Hardik Modh³

^{1,2} Assistant Professor, ³U.G. Student

Dept. of Mechanical engineering, A D Patel Institute of Technology, New
V.V.Nagar, Anand, Gujarat, India¹me.kalpeshnshah@adit.ac.in,
²me.baladutt@adit.ac.in, ³hbmodh93@gmail.com

10. OACI Circular 328